

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 63-224385

(43)Date of publication of application : 19.09.1988

(51)Int.Cl.

H01S 3/18

G02B 6/42

(21)Application number : 62-058160

(71)Applicant : MITSUBISHI ELECTRIC CORP

(22)Date of filing : 13.03.1987

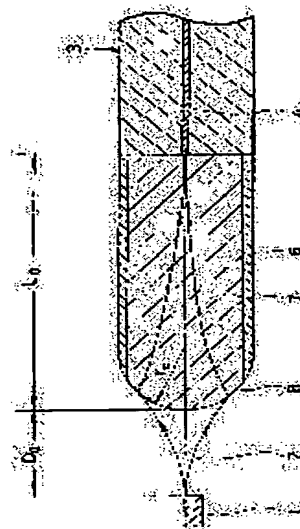
(72)Inventor : ADACHI AKIHIRO

(54) SEMICONDUCTOR LASER COUPLER

(57)Abstract:

PURPOSE: To easily obtain a high coupling efficiency by connecting a short step index fiber to the end face of a single mode fiber, and forming the end of the short fiber in a spherical curved surface.

CONSTITUTION: A short step index fiber 6 having the same outer diameter as that of a single mode fiber 3 is connected to the end face of the fiber 3, and the end of the fiber 6 is formed in a spherical curved surface 8. Accordingly, even if a laser light 2 radiated from a semiconductor laser 1 is largely extended, it is passed through the fiber 6 having the spherical curved surface connected to the end of the fiber 3 to sufficiently condense laser light at a core of the fiber 3. Thus, the laser 1 is separated from the end face of the fiber 3, and even if the radius of curvature of the curved surface formed at the end face is increased, high coupling efficiency of the laser 1 to the fiber 3 can be obtained.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A)

昭63-224385

⑬ Int. Cl.⁴

識別記号

庁内整理番号

⑭ 公開 昭和63年(1988)9月19日

H 01 S 3/18
G 02 B 6/42

7377-5F
8507-2H

審査請求 未請求 発明の数 1 (全7頁)

⑮ 発明の名称 半導体レーザ結合装置

⑯ 特 願 昭62-58160

⑰ 出 願 昭62(1987)3月13日

⑱ 発 明 者 足 立 明 宏 神奈川県鎌倉市大船5丁目1番1号 三菱電機株式会社情
報電子研究所内

⑲ 出 願 人 三菱電機株式会社 東京都千代田区丸の内2丁目2番3号

⑳ 代 理 人 弁理士 大岩 増雄 外2名

明 細 書

1. 発明の名称

半導体レーザ結合装置

2. 特許請求の範囲

(1) 半導体レーザとシングルモードファイバの結合装置において、上記シングルモードファイバの端面に、このシングルモードファイバと同じ外径を有し、少なくとも上記シングルモードファイバのコア部の径よりも大きなコア部の径を有し、かつ上記半導体レーザ側に球面状の曲面部を有する短尺のステップインデックスファイバを接続したことを特徴とする半導体レーザ結合装置。

(2) 上記シングルモードファイバの端面に接続する上記短尺のステップインデックスファイバの周縁率を N_c 、長さを L_0 、球面状の曲面部の曲率半径を r_c 、上記シングルモードファイバの伝播光のスポットサイズを ω_p 、上記半導体レーザの出射光の半導体出射端面でのスポットサイズを ω_{LD} とすると、以下の第(1)式、

$$L_0 = \frac{r_c \cdot N_c}{N_c - 1} \left(1 + \frac{\omega_p}{\omega_{LD}} \right) \quad (1)$$

が成立することを特徴とする特許請求の範囲第1項記載の半導体レーザ結合装置。

(3) 上記短尺のステップインデックスファイバの球面状の曲面部の端面の先端と上記半導体レーザの端面との距離を D_0 とすると、以下の第(2)式、

$$D_0 = \frac{r_c}{N_c - 1} \left(1 - \frac{\omega_{LD}}{\omega_p} \right) \quad (2)$$

が成立するように、上記半導体レーザを配置したことを特徴とする特許請求の範囲第2項記載の半導体レーザ結合装置。

(4) 上記短尺のステップインデックスファイバの球面状の曲面部の形状が、光軸付近において曲率半径 r_c の球面であり、光軸外において非球面であることを特徴とする特許請求の範囲第1項あるいは第2項、又は第3項記載の半導体レーザ結合装置。

(5) 上記半導体レーザから出射したレーザ光が、

上記短尺のステップインデックスファイバの球面状の曲面部に入射する地点と上記半導体レーザのレーザ光の出射点との距離を l_1 、上記レーザ光が、上記球面状の曲面部に入射する地点と上記シングルモードファイバのコア部の端面との距離を l_2 とすると、 $l_1 + N_C \cdot l_2 = D_0 + N_C \cdot L_0$ の関係が成立するように、上記短尺のステップインデックスファイバの球面状の曲面部が非球面に形成されていることを特徴とする特許請求の範囲第4項記載の半導体^{レーザ}結合装置。

3.発明の詳細な説明

(産業上の利用分野)

この発明は、例えば光ファイバ通信に使用する半導体レーザとシングルモードファイバの結合装置に関するものである。

(従来の技術)

第3図は、例えば昭和60年度電子通信学会総合全国大会の資料928に開示された従来の半導体レーザ結合装置における半導体レーザとシングルモードファイバの結合部分を示す断面図である。

を説明するための要部拡大断面図である。第4図において、半導体レーザ1より出射したレーザ光2は、このレーザ光2が単一モードで発振しているものとする、スポットサイズ ω_{LD} のガウスビームである。また、シングルモードファイバ3中のレーザ光2の伝播モードは単一モードであり、その単一モードの電界分布はスポットサイズ ω_F のガウス形である。従って、半導体レーザ1から出射したスポットサイズ ω_{LD} のガウスビームを、レンズでスポットサイズ ω_F のガウスビームに変換してシングルモードファイバ3に入力してやれば、半導体レーザ1とシングルモードファイバ3の結合効率は理論的に100%となる。一般の平均値を半導体レーザのスポットサイズ ω_{LD} は1 μ mであり、シングルモードファイバのスポットサイズ ω_F は5 μ mである。このように、半導体レーザとシングルモードファイバの結合系は約5倍のレンズ系が用いられる。ここで、第4図に示したような従来の形のシングルモードファイバ3において、理論的な結合効率100%を得るためには、どの

図において、1は半導体レーザ、2は半導体レーザ1より出射したレーザ光、3はシングルモードファイバ、4はシングルモードファイバ3のコア部、5はシングルモードファイバ3の先端に形成されたレーザ光2をコア部4に集光するためのレンズ作用を有する球面状の曲面部、6は曲面部5を形成しやすくするために設けられたテーパ部である。

次に、上記従来の半導体レーザ結合装置の動作について説明する。半導体レーザ1より出射したレーザ光2は空気中に広がって出射する。このように広がって出射したレーザ光2はシングルモードファイバ3の先端に形成された曲面部5によりコア部4に集光され、効率の良い半導体レーザ1とシングルモードファイバ3の結合が達成される。以上が従来の半導体レーザ結合装置の概略の動作であるが、次に第4図を用い、さらに詳細にこの結合関係についての説明をする。

第4図は第3図の半導体レーザ結合装置における半導体レーザとシングルモードファイバの結合

ような結合系にしなければならないかの理論式を求める。用いられるレンズは、第4図に示したようなシングルモードファイバ3の先端に形成された単レンズを成す曲率半径 r_0 の球面状の曲面部5である。ここでは、この単レンズを薄肉レンズで近似している。すると、ガウスビームは、一般に用いられているレンズのA、B、C、Dマトリックス表示を用いて変換することができる〔文献(1) Rogelnik, H: 「Imaging of Optical mode - resonators with internal Lenses」 Bell Syst. Tech. J., 44, 3, P. 455 (1965)、文献(2) 内田賀二、植木敦史: 「電子技術者のための光学I, II」電子通信学会誌, Vol. 62, 65, P. 538 (1979)、文献(3) 坂底一郎: 「量子電子工学」森北出版株式会社〕。これより第4図において、上記曲面部5により変換されたレーザビームのスポットサイズ ω_0 は、次式で表わされる。

$$\omega_0 = 1 / \sqrt{\left(\frac{\pi}{\lambda}\right)^2 \cdot \left(\frac{N_C - 1}{r_0}\right)^2 \cdot \omega_{LD}^2 + \frac{1}{\omega_{LD}^2}} \quad \dots (3)$$

ここで、 λ はレーザ光2の波長、 N_C はコア部4の屈折率である。

次に、 $\omega_F = \omega_P$ の関係より結合効率が100%になるための曲面部5の曲率半径 r_c 、及び半導体レーザ1とシングルモードファイバ3の先端の距離 D_0 を求めると、それぞれ以下の第(4)式、第(5)式のようにになる。

$$r_c = \frac{\pi}{\lambda} (N_C - 1) \omega_F^2 / \left(\frac{\omega_F^2}{\omega_{LD}^2} - 1 \right) \dots\dots\dots (4)$$

$$D_0 = \frac{\pi}{\lambda} (\omega_F^2 - \omega_{LD}^2) / \left(\frac{\omega_F^2}{\omega_{LD}^2} - 1 \right) \dots\dots\dots (5)$$

次に、上記第(4)式、第(5)式に実際の値を代入して r_c 、 D_0 を求める。ここでは、シングルモードファイバ3を用いた光通信光線として、一般に用いられる波長 $1.3 \mu m$ のレーザダイオードと石英系のファイバを仮定し、 $\lambda = 1.3 \mu m$ 、 $N_C = 1.45$ を用いる。また、先に述べたように $\omega_{LD} = 1 \mu m$ 、 $\omega_F = 5 \mu m$ を用いる。これらの値を代入

には、シングルモードファイバ3の曲面部5の曲率半径 r_c を小さくし、半導体レーザ1をシングルモードファイバ3に $10 \mu m$ 程度の近距離に近付けなければならず、シングルモードファイバ3からの反射光で半導体レーザ1の特性が劣化したり、半導体レーザ1が破損しやすくなり、このためシングルモードファイバ3の曲面部5の形成が難しいなどの問題点があった。また、このように問題点を解決するために、従来の半導体レーザ結合装置では、わざと曲面部5の曲率半径 r_c を大きくし、半導体レーザ1をシングルモードファイバ3の端面から遠ざけているが、これでは結合効率が低下するという問題点があった。

この発明は、かかる問題点を解決するためになされたもので、シングルモードファイバの曲面部の曲率半径を大きくでき、半導体レーザをシングルモードファイバの端面から遠ざけることができると共に、高い結合効率が達成できる半導体レーザ結合装置を得ることを目的とする。

〔問題点を解決するための手段〕

すると、曲面部5の曲率半径 r_c は $5.5 \mu m$ 、半導体レーザ1とシングルモードファイバ3の先端距離 D_0 は $1.8 \mu m$ とかなり小さな値となり、このことにより次に述べるような不都合が生じる。

まず、半導体レーザ1とシングルモードファイバ3の端面が非常に近くなるために、半導体レーザ1から出射したレーザ光2のうち曲面部5で反射されて戻る光の量が多くなり、これにより半導体レーザ1の出力が不安定になり雑音が発生するという欠点を生じる。また、半導体レーザ1とシングルモードファイバ3の端面が近いため、両者の光軸調整を行う時に互いにぶつかり合って破損しやすいという欠点がある。さらに、曲面部5の曲率半径 r_c が非常に小さいために、この曲面部5を形成するのが大変に困難であると共に、この曲面部5を形成するためにテーパ部8を形成しなければならないという製作上の欠点がある。

〔発明が解決しようとする問題点〕

上記従来の半導体レーザ結合装置は以上のように構成されているので、高い結合効率を得るため

この発明に係る半導体レーザ結合装置は、シングルモードファイバの外径と同じ外径を有する短尺のステップインデックスファイバをシングルモードファイバの端面に接続すると共に、この短尺のステップインデックスファイバの先端を球面状の曲面部に形成したものである。

〔作用〕

この発明の半導体レーザ結合装置においては、半導体レーザより出射したレーザ光が大きく広がった場合でも、シングルモードファイバの先端に接続された球面状の曲面部を有する短尺のステップインデックスファイバを通過させることにより、十分にシングルモードファイバのコア部にレーザ光を集光させることができる。従って、半導体レーザを上記シングルモードファイバの端面から遠ざけて、この端面に形成する曲面部の曲率半径を大きくしても、半導体レーザとシングルモードファイバの高い結合効率が得られる。

〔実施例〕

第1図はこの発明の一実施例である半導体レー

ザ結合装置における半導体レーザとシングルモードファイバの結合部分を示す断面図であり、各符号1, 2, 3, 4は上記第3図に示す従来装置と同一のものである。図において、6はシングルモードファイバ3と同じ外径を有する短尺のステップインデックスファイバ、7はシングルモードファイバ3のコア部4の径より大きな径を有するステップインデックスファイバ6のコア部、8はステップインデックスファイバ6の端面に形成された球面状の曲面部である。

次に、上記この発明の一実施例である半導体レーザ結合装置の動作について説明する。半導体レーザ1より出射したレーザ光2は空气中を広がりながら伝播し、短尺のステップインデックスファイバ6の端面に形成された球面状の曲面部8に入射する。レーザ光2は上記曲面部8で屈折し、ステップインデックスファイバ6のコア部7中を収束しながら伝播し、シングルモードファイバ3のコア部4に入力される。上述したようにステップインデックスファイバ6のコア部7の径はシング

ルモードファイバ3のコア部4の径よりも大きな径を有しているため、この部分でレーザ光2を絞ることができる。従って、ステップインデックスファイバ6の長さを適当に選ぶことにより、このステップインデックスファイバ6の曲面部8では任意の広がったレーザ光を受けることができる。ここで、広がったレーザ光2を受けられるということとは、半導体レーザ1を上記曲面部8から適当に遠ざけることができるということである。

次に、半導体レーザ1とシングルモードファイバ3の結合効率が100%になる時、ステップインデックスファイバ6の長さ L_0 、曲面部8の曲率半径 r_c 、半導体レーザ光1と曲面部8の間隔の距離 D_0 がどのような関係になるかを求めた結果を示す。この結果は、上述のように近軸領域におけるガウスビームの変換式から求めたもので、以下の式(6)式に L_0 を求める式、式(7)式に D_0 を求める式がそれぞれ成立する。

$$L_0 = \frac{r_c \cdot N_C}{N_C - 1} \left(1 + \frac{\omega_F}{\omega_{LD}} \right) \quad (6)$$

$$D_0 = \frac{r_c}{N_C - 1} \left(1 - \frac{\omega_{LD}}{\omega_F} \right) \quad (7)$$

次に、上記各式に基づいての数値例を示す。ここで先に述べたように、 $\omega_F = 5.0 \text{ mm}$ 、 $\omega_{LD} = 1 \text{ mm}$ 、 $N_C = 1.45$ の値を使用する。現在、一般の標準的なシングルモードファイバの外径は $125 \mu\text{m}$ である。また、ステップインデックスファイバの外径も $125 \mu\text{m}$ のものが標準的である。従って、ここでは外径 $125 \mu\text{m}$ のシングルモードファイバ3に外径 $125 \mu\text{m}$ の短尺のステップインデックスファイバ6を接続することを考える。ステップインデックスファイバ6の端面を球面状に加工する方法として、研削、研磨等の方法が考えられるが、ステップインデックスファイバ6の半径と等しい曲率半径 r_c 、あるいはそれに近い曲率半径を持つ曲面部8の加工は比較的容易にできる。従って、ここでは曲率半径 $r_c = 62.5 \mu\text{m}$ の曲面

部8を形成する場合について、上記式(6)式、式(7)式より L_0 、 D_0 を求めると、それぞれ $L_0 = 1208 \text{ mm}$ 、 $D_0 = 111 \mu\text{m}$ となる。この値は上記従来装置の例で示した値、 $r_c = 5.5 \mu\text{m}$ 、 $D_0 = 11.8 \mu\text{m}$ に比べると充分に大きき値であり、これにより結合効率を低下させることなく、半導体レーザ1をシングルモードファイバ3の端面から遠ざけることができ、このため反射光による半導体レーザ1の劣化を防ぐことができる。また、上記の実施例では、 $r_c = 62.5 \mu\text{m}$ の場合について示したが、 L_0 、 D_0 は r_c を変えることによりさらに適当な値に設定することができる。ところで、このようなことが可能となるのは、ステップインデックスファイバ6をシングルモードファイバ3の端面に接続するからであるが、シングルモードファイバ3とステップインデックスファイバ6の接続は外径が一致しているため、V溝を使用した自動融着接続装置(図示しない)を用いることにより機械的に容易に製作できる。

ところで、上述した半導体レーザ1とシングル

モードファイバ3との結合系では、ステップインデックスファイバ6の端面に形成されたレンズの光軸と、シングルモードファイバ3の光軸が一致していなくては、軸ずれ損失が生じて高い結合効率を得られなくなる。従って、レンズの光軸とシングルモードファイバ6の光軸を一致させる必要がある。この光軸の一致は、次のようにして得られる。まず、シングルモードファイバ3とステップインデックスファイバ6の光軸合わせは、上述のように両者の外径が一致したファイバを用いているので、V溝上で機械的に突き合わせて微調整することにより容易に得られる。この時の軸ずれ精度は、市販されている一般のファイバの外径の精度が $1 \sim 2 \mu\text{m}$ 程度であることから数 μm 以内の高精度である。

次に、ステップインデックスファイバ6の端面への曲面部8の形成については、例えば形成部を地球の重力方向に向けて待機する方式を用いれば、自然にステップインデックスファイバ6の光軸に一致した光軸を持つレンズを成す曲面部8が得ら

れては、第2図を用いて説明する。

第2図はこの発明の他の実施例である半導体レーザー結合装置における半導体レーザーとシングルモードファイバの結合部分を示す断面図で、第1図に示すものと同一又は相当部分は、同一符号を用いて表示してある。図において、9は第1図に示す球面状の曲面部8に代えて形成した、第2図に破線で示すような非球面状の曲面部である。このような非球面状の曲面部9を使用した理由は、球面状の曲面部8を用いたレンズ系では、光軸から外側に離れて入射するレーザー光2ほどシングルモードファイバ3に結合しにくくなり、これは球面状の曲面部8の中心(光軸)を通るレーザー光2と外側を通るレーザー光2とで、半導体レーザー1を出射してからシングルモードファイバ3のコア部4に到達する時間がずれ、これによりガウスビームの収束がゆがむ波面収差を生じるからである。この波面収差を防ぐため、レーザー光2が球面状の曲面部8のどこかの位置を通過してもその到達時間が一致するように、球面状の曲面部8を非球面状の

曲面部9にすることが考えられる。この非球面状の曲面部9の形状は、後述の式(8)式を満足する形状である。

なお、上記実施例では、シングルモードファイバ3の端面にステップインデックスファイバ6を接続したものについて示したが、ステップインデックスファイバ6の代わりに石英ロッド又はガラスロッドを用いても良い。

また、上記実施例では、ステップインデックスファイバ6の端面に曲率半径 r_c の球面状の曲面部8を形成した場合について示したが、球面状の曲面部8を非球面に形成しても良い。この場合につ

曲面部9にすることが考えられる。この非球面状の曲面部9の形状は、後述の式(8)式を満足する形状である。

$$d_1 + N_C \cdot d_2 = D_0 + N_C \cdot L \quad (8)$$

ここで、 d_1 はレーザー光2がステップインデックスファイバ6の球面状の曲面部8に入射する地点と半導体レーザー1のレーザー光2の出射点との距離、 d_2 はレーザー光2が球面状の曲面部8に入射する地点とシングルモードファイバ3のコア部4の端面との距離である。

(発明の効果)

この発明は以上説明したとおり、半導体レーザー結合装置において、シングルモードファイバの外径と同じ外径を有する短尺のステップインデックスファイバをシングルモードファイバの端面に接続すると共に、この短尺のステップインデックスファイバの先端を球面状の曲面部に形成した構成としたので、シングルモードファイバの端面部の曲率半径を大きくでき、半導体レーザーをシングル

モードファイバの端面から透さけることができると共に、半導体レーザの反射光による劣化を生じることなく、極めて高い結合効率を有する半導体レーザ結合装置を容易に、かつ高精度に実現できるという優れた効果を奏するものである。

4. 図面の簡単な説明

第1図はこの発明の一実施例である半導体レーザ結合装置における半導体レーザとシングルモードファイバの結合部分を示す断面図、第2図はこの発明の他の実施例である半導体レーザ結合装置における半導体レーザとシングルモードファイバの結合部分を示す断面図、第3図は従来の半導体レーザ結合装置における半導体レーザとシングルモードファイバの結合部分を示す断面図、第4図は第3図の半導体レーザ結合装置における半導体レーザとシングルモードファイバの結合を説明するための要部拡大断面図である。

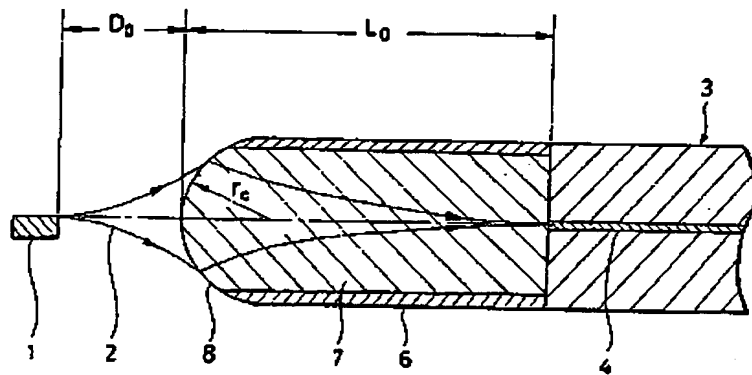
図において、1…半導体レーザ、2…レーザ光、3…シングルモードファイバ、4, 7…コア部、5, 8…球面状の曲面部、6…ステップインデッ

クスファイバ、9…テーパ部、10…非球面状の曲面部である。

なお、各図中、同一符号は同一、又は相当部分を示す。

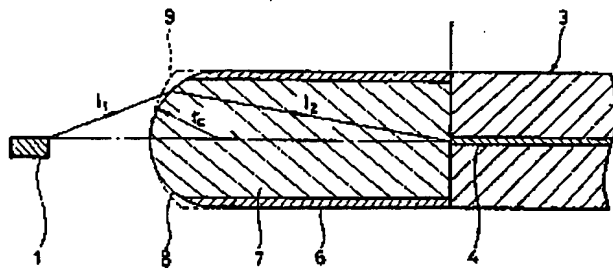
代理人 大 岩 増 雄

第 1 図



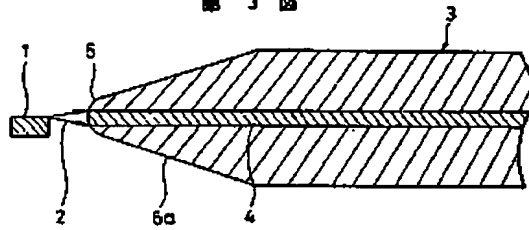
- 1: 半導体レーザ
- 2: レーザ光
- 3: シングルモードファイバ
- 4, 7: コア部
- 6: ステップインデックスファイバ
- 8: 球面状の曲面部

第 2 図



9: 半球面状の曲面部

第 3 図



5: 半球面状の曲面部

6a: テーパー部

第 4 図

